

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-061652
 (43)Date of publication of application : 07.03.1997

(51)Int.CI.

G02B 6/13
 G02B 6/122
 G02B 6/42
 H01S 3/18

(21)Application number : 07-217986
 (22)Date of filing : 25.08.1995

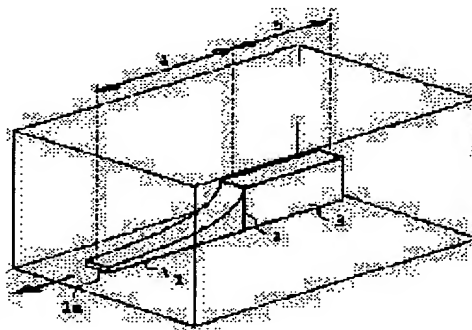
(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>
 (72)Inventor : OKAMOTO MINORU
 FUKANO HIDEKI
 TOMORI YUICHI

(54) SEMICONDUCTOR OPTICAL WAVEGUIDE AND ITS PRODUCTION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor optical waveguide capable of improving coupling efficiency without using a lens system and a process for producing the same.

SOLUTION: A tapered optical waveguide 1 is joined via a butt joint part 2 to an MQW active layer 3. The optical waveguide 1 is an optical waveguide formed by continuously changing a layer thickness and band gap wavelength. The MQW active layer 3 is a distortion superlattice active layer. The optical waveguide 1 constitutes a spot size changing region 4 and the MQW active layer 3 constitutes an active region 5. The captioned number 6 denotes the entire part of the structural part necessary for forming an element consisting of a clad, cap, endoscope, etc. The light generated in this active region 5 is propagated to a spot size changing region 4 joined at the butt joint part 2 to this part and is changed in its spot size in this region. The light is emitted from a light exit end 1a to another optical element and optical fiber. A tapered selection mask is used for production of this tapered optical waveguide.



BEST AVAILABLE COPY

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.11.1998
 [Date of sending the examiner's decision of rejection] 08.06.2001
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal for application]
 [Patent number]
 [Date of registration]
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-61652

(43)公開日 平成9年(1997)3月7日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
G 0 2 B	6/13		G 0 2 B	6/12 M
	6/122			6/42
	6/42		H 0 1 S	3/18
H 0 1 S	3/18		G 0 2 B	6/12 A

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平7-217936

(22)出願日 平成7年(1995)8月25日

特許法第30条第1項適用申請有り 1995年3月10日、社団法人電子情報通信学会発行の「1995年電子情報通信学会総合大会講演論文集 エレクトロニクス1」に発表

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 岡本 稔

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 深野 秀樹

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 東盛 裕一

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

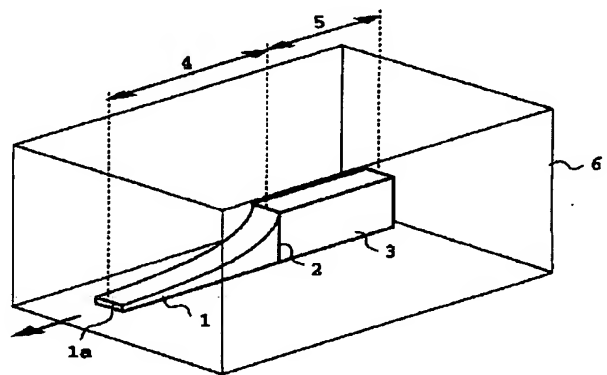
(74)代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

(54)【発明の名称】 半導体光導波路およびその作製方法

(57)【要約】

【課題】 レンズ系を用いずに結合効率を向上させることができる半導体光導波路およびその作製方法を提供すること。

【解決手段】 テーバ光導波路1がバットジョイント部2を介してMQW活性層3と接合している。光導波路1は層厚とバンドギャップ波長を連続的に変化させた光導波路である。MQW活性層3は歪み超格子活性層である。この光導波路1はスポットサイズ変換領域4を構成し、MQW活性層3は活性領域5を構成している。6はクラッド、キャップ、電極等の素子化に必要な構造部分の全体を示す。この活性領域5で発生された光がバットジョイント部2でこれに接合しているスポットサイズ変換領域4に伝搬され、この領域でスポットサイズが変換されて光出射端1aから他の光素子や光ファイバへ出射される。このテーバ光導波路の作製にはテーバ状選択マスクを使用する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 選択成長による半導体光導波路の作製方法において、選択マスクをテーパ状に成形することにより、光導波路のコア層の厚さを指数関数的に連続的に変化させ、最大3倍以上の膜厚比を有する半導体層を形成することを特徴とする半導体光導波路の作製方法。

【請求項2】 選択成長による光導波路形成において、選択マスクをテーパ状に成形することにより、光導波路層のバンドギャップを指数関数的に連続的に変化させることを特徴とする半導体光導波路の作製方法。

【請求項3】 格子不整合量を制御し、半導体薄膜結晶がもっとも厚くなるバットジョイント部における格子不整合量を小さくし、半導体薄膜結晶がもっとも薄くなる光出射部における格子不整合量を大きくすることで、半導体薄膜結晶のどの部分においても臨界膜厚を超えないようにすることを特徴とする請求項1または2に記載の半導体光導波路の作製方法。

【請求項4】 半導体基板上に形成され、バットジョイント部と光出射部とを有し、コア層の厚さを光伝搬方向に沿って変化させた埋込型のテーパ光導波路において、前記光導波路のコア層の厚さが前記光伝搬方向に沿って指数関数的に連続的に変化しており、

前記光導波路は入射端および出射端の膜厚比が最大3倍以上であり、

前記光導波路を構成する半導体薄膜結晶がもっとも厚くなる前記バットジョイント部における格子不整合量を小さくし、該半導体薄膜結晶がもっとも薄くなる前記光出射部における格子不整合量を大きくし、該半導体薄膜結晶のどの部分においても臨界膜厚を超えないようにしたことを特徴とする半導体光導波路。

【請求項5】 半導体基板上に形成され、バットジョイント部と光出射部とを有し、コア層の厚さを光伝搬方向に沿って変化させた埋込型のテーパ光導波路において、前記光導波路のバンドギャップが前記光伝搬方向に沿って指数関数的に連続的に変化しており、

前記光導波路を構成する半導体薄膜結晶がもっとも厚くなる前記バットジョイント部における格子不整合量を小さくし、該半導体薄膜結晶がもっとも薄くなる前記光出射部における格子不整合量を大きくし、該半導体薄膜結晶のどの部分においても臨界膜厚を超えないようにしたことを特徴とする半導体光導波路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体光導波路およびその作製方法に関し、特に光素子を他の光素子やファイバに接続する際に、接続損失を簡便に低減する構造を有する半導体光導波路およびその作製方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体レーザダイオード(LD)と単一モードファイバとの間を光結合させる場合、LD素子端

面とファイバを直接突合せ結合(バットジョイント)させると、互いの光導波路光波スポットサイズが異なっているために、結合損失が生じる。通常、LDの光波スポットサイズ(モード半径:W)は1μm程度であり、ファイバのスポットサイズは約5μmであるので、この結合損失は約10dBになる。そこで、レンズによってスポットサイズを変換することによって結合損失を低減する方法が一般にとられる。複数のレーザダイオード

(LD)を集積した半導体光機能素子をアレイファイバに光結合させる場合でも同様に1個のレンズで光結合させる方法がとられてきた。従来の構成例を図11に示す。図11において、101は半導体基板、102はLDの活性領域(光導波路部)、107はレンズ、108はファイバ、109はファイバを一定間隔で固定するためのVグループアレイである。このような構成においては、LDの集積規模が大きくなるに従って、レンズの収差等の影響により結合損失が大きくなるために、1個の半導体基板に集積できるLDの個数に制限があった。

【0003】この問題点を解決するため図12に示すような、テーパ状の光導波路により光のスポットサイズを変換する光結合デバイスをアレイ状に集積したものを、レンズの代わりとして用いることにより、半導体光機能素子とアレイファイバ間の低損失に光結合させる方法がある。図12(A)は、従来の光結合デバイスの上面図、(B)は断面図である。図13は図12に示す光結合デバイスの動作原理を説明するための線図である。図13には、図12における光導波路のクラッド層201と光導波路コア202の屈折率差 $\Delta n (= (n_2 - n_1) / n_1, n_1, n_2$:クラッド層201, 光導波路コア層202の屈折率)を一定の大きさに固定した場合の導波光のスポットサイズWの変化を示している。光導波路コア202の厚さt, 幅wを0から次第に大きくしていくと、導波光(基本モード光)のスポットサイズWは、無限の大きさから次第に小さくなり、極小値をとった後、再び大きくなる関係がある。ここで、t, wが大きくなり過ぎると多モード光導波路になり、高次モード変換による損失が大きくなるために、通常、この領域の寸法は用いられない。この関係を利用して、光結合デバイスの光導波路コア202の大きさt, wの設計においては、光入射端側(LDとの結合側)では、LD光のスポットサイズ(約1μm)と同程度のスポットサイズW_iを与える寸法w_i, t_i(=数100nm~数μm)に、光出射端側では、ファイバのスポットサイズ(約5μm)と同程度の大きさW₀を与える寸法t₀, w₀(=数10~数100nm)に設定される(具体的設計例については、例えば1992信学秋季全大、C-201、1992を参照)。

【0004】しかしながら、図13における光導波路コア202の寸法、t₀, w₀は非常に小さく製作しなくてはならず、製作精度が厳しい、また、従来の光結合デ

パイスはその光導波路構造において光導波路コア上部に非常に厚いクラッド層が必要であり、通常の半導体デバイスとモノリシック集積する際に問題となっている。また、半導体材料では使用する光の波長によって屈折率が変化するため、2つの波長の光を使用する場合などには最適構造がそれぞれ異なるなどの問題を有している。

【0005】上述の従来技術では、スポットサイズをコア層のサイズ w 、 t のみで制御していた。そのためコア層の最適サイズ w_i 、 t_i より小さいコアサイズではスポットサイズが広がりすぎてファイバとの結合効率が低下していた。

【0006】それに対し、特開平7-74396号（特願平5-162980号）公報および1993年電子情報通信学会春季大会予稿集C-181に記載のように、コア層のサイズに加え、メサ状に加工したクラッドの幅 W と高さ H によってスポットサイズを制御するアプローチによると、メサ状に加工したクラッドと空気との屈折率差、およびクラッドと基板材料との屈折率差によりスポットサイズの広がりが抑制され、ファイバとの結合効率の低下が避けられる。しかし、結合損失をさらに低下することが望まれている。

【0007】また、半導体レーザ素子（LD）と単一モード光ファイバとの間を光結合させる際、レンズ系を用いずに結合効率を向上させることを目的とする光波スポットサイズ変換光導波路を使用する場合がある。この光導波路の形成には（1）リソグラフィとエッチングにより光導波路幅を変化させる方法と、（2）多重量子井戸を選択成長法により、レーザ部分の活性層と同時に作製し、その量子井戸のバンドギャップエネルギーと層厚変化を利用する方法とがある。

【0008】しかしながら、リソグラフィとエッチングにより光導波路構造を作製する場合は（a）高精度の光導波路を再現性よく作製することが困難であるだけでなく、（b）レーザ活性層と一括成長を行うには組成制御に制限がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の目的は、半導体レーザなど光素子と光ファイバなど他の光素子との接合においてレンズ系を用いずに結合効率を向上させることができる半導体光導波路を提供することにある。

【0010】本発明の別の目的は、そのような半導体光導波路の作製方法を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、本発明の第1の解決手段に従う半導体光導波路の作製方法は、選択成長による半導体光導波路の作製方法において、選択マスクをテーパ状に成形することにより、光導波路のコア層の厚さを指数関数的に連続的に変化させ、最大3倍以上の膜厚比を有する半導体層を形成

することを特徴とする。

【0012】本発明の第2の解決手段に従う半導体光導波路の作製方法は、選択成長による光導波路形成において、選択マスクをテーパ状に成形することにより、光導波路層のバンドギャップを指数関数的に連続的に変化させることを特徴とする。

【0013】本発明の第3の解決手段に従う半導体光導波路の作製方法は、上述の第1または第2の解決手段に従う半導体光導波路の作製方法において、格子不整合量を制御し、半導体薄膜結晶がもっとも厚くなるバットジョイント部における格子不整合量を小さくし、半導体薄膜結晶がもっとも薄くなる光出射部における格子不整合量を大きくすることで、半導体薄膜結晶のどの部分においても臨界膜厚を超えないようにすることを特徴とする。

【0014】本発明の第4の解決手段に従う半導体光導波路は、半導体基板上に形成され、バットジョイント部と光出射部とを有し、コア層の厚さを光伝搬方向に沿って変化した埋込型のテーパ光導波路において、前記光導波路のコア層の厚さが前記光伝搬方向に沿って指数関数的に連続的に変化しており、前記光導波路は入射端および出射端の膜厚比が最大3倍以上であり、前記光導波路を構成する半導体薄膜結晶がもっとも厚くなる前記バットジョイント部における格子不整合量を小さくし、該半導体薄膜結晶がもっとも薄くなる前記光出射部における格子不整合量を大きくし、該半導体薄膜結晶のどの部分においても臨界膜厚を超えないようにしたことを特徴とする。

【0015】本発明の第5の解決手段に従う半導体光導波路は、半導体基板上に形成され、バットジョイント部と光出射部とを有し、コア層の厚さを光伝搬方向に沿って変化した埋込型のテーパ光導波路において、前記光導波路のバンドギャップが前記光伝搬方向に沿って指数関数的に連続的に変化しており、前記光導波路を構成する半導体薄膜結晶がもっとも厚くなる前記バットジョイント部における格子不整合量を小さくし、該半導体薄膜結晶がもっとも薄くなる前記光出射部における格子不整合量を大きくし、該半導体薄膜結晶のどの部分においても臨界膜厚を超えないようにしたことを特徴とする。

【0016】

【発明の実施の形態】本発明の半導体光導波路の基本的構造は、図1に示すように、テーパ光導波路1がバットジョイント部2を介してMQW活性層3と接合している。光導波路1は層厚とバンドギャップ波長を連続的に変化した光導波路である。MQW活性層3は歪み超格子活性層であり、例えば1.3 μm 帯-InGaAsP 8ウェル活性層で構成することができる。この光導波路1はスポットサイズ変換領域4を構成し、MQW活性層3は活性領域5を構成している。6はクラッド、キャップ、電極等の素子化に必要な構造部分の全体を示す。こ

の活性領域5で発生された光がバットジョイント部2でこれに接合しているスポットサイズ変換領域4に伝搬され、この領域でスポットサイズが変換されて光出射端1aから他の光素子や光ファイバへ出射される。このように、本発明のスポットサイズ変換付き半導体素子(LD)は活性領域にMQW構造、スポットサイズ変換領域に低損失バルク構造を用い、バットジョイント構造により両領域を接合している。

【0017】スポットサイズ変換領域では、バットジョイント時の選択マスク形状をテーパ状に設計することによりテーパ光導波路の層厚をテーパ状に変化させて制御してある。マスク形状の制御により、テーパ光導波路の層厚は、ジョイント部では両領域の結合損失を最低にするように設定し、かつ、スポットサイズ変換領域先端においてはファイバとの結合を最大にするように薄層化してある。

【0018】テーパ光導波路1とMQW活性層3の接合構造体は、テーパ光導波路1を形成した後、全面にクラッド、キャップの成長を行い、例えばC₂H₆ドライエッチによりメサ形成し、高抵抗InP埋込を用いて電流狭帯を行い、電極を形成して素子化してある。

【0019】本発明の半導体光導波路は、基板上にレーザ活性層を形成し、リソグラフィとエッチングによってレーザ活性層端面を露出し、その面にバットジョイント接合結晶成長法により、光導波路となる結晶を成長させる。その際、選択成長マスクを光導波路方向にテーパ状に延長することにより、光導波路の層厚・組成・屈折率を連続的に変化させる。レーザ活性層と独立にスポットサイズ変換光導波路を成長するため、光導波路に最適の組成を選んで形成することができ、活性層のバンドギャップより光導波路のバンドギャップを階段状に大きくすることで、光導波路における吸収ロス無くすることができ

る。

【0020】本発明の半導体光導波路の作製方法に従って作製した光導波路は、層厚が図2の黒点で示すように、マスク端部からの距離に対して指数関数的に減少している。点線は、1種類の原料が定期的に供給され、その原料粒子が一定の時定数で拡散・吸着(結晶成長)・再離脱するとして求めた計算結果であるが、実際の成長結果をよく再現している。

【0021】また、図3に示すように、PL波長も同様に、すなわちマスク端部からの距離に対して指数関数的に短波長化している。

【0022】このような変化を示す光導波路は三富らが示したように(IEEE. J. QE, vol. 30, No. 8, p. 1787) シングルモードファイバへの結合損失は小さくなると推測されるが、1~1.5 dBの結合損失を実現できる。

【0023】さらに、この光導波路の場合の格子不整合、は図4に示すようになっており、導波損失を生じさ

せる原因となり得る接合部分においてさほど大きくなり、結晶組成は無理のないものを実現している。ここで、格子不整合量はx線回折における基板からのズレを角度で示してある。

【0024】光導波路の層厚と幅は、制御性が高い値として、典型的にはそれぞれ0.1 μm, 1.2 μmとすることができる。この場合結合損失は約1 dBである。光導波路の層厚、幅が20%程度変動した場合の結合損失の変動は0.7~1.7 dB程度であり、その変動幅は1 dB程度である。従って、加工精度を考慮にいれても本発明の光導波路は、結合損失の変動幅を容易に1 dB以下に抑えることができ、製造許容度がきわめ大きい。

【0025】光導波路素子の一例として、活性領域長300 μm、スポットサイズ変換領域長300 μm、両端劈開の素子とすることができる。この場合、しきい値は室温で平均10 mA程度、最小7 mAであった。スポットサイズ変換領域長が200~500 μmのものについて、スポットサイズ変換領域長の増加に伴う顕著なしきい値の増加、効率の低下は観測されていない。これはスポットサイズ変換領域が高抵抗InPで埋込込まれており、スポットサイズが拡大されても、高抵抗InP層の吸収損失が比較的小さく抑えられているためと考えられる。

【0026】ファイバとの結合特性スポットサイズ変換領域長を増加すると、出射ビームの狭帯化がより有効に行われ、変換領域長500 μmの素子では最小1.06 dBの低損失結合が得られている。変換領域長200 μm程度以上でも、いずれも1~1.5 dB程度の低損失結合が得られている。

【0027】素子を50℃、5 mWで通電した場合、700時間程度の初期段階では、ジョイント成長、ドライエッチングによるメサ形成、MO埋込成長等による劣化もなく、安定な動作が確認されている。

【0028】なお、本発明の光導波路の作製時に使用するマスクの形状の一例を図5に示す。図5において、被マスク構造8の上に形成された選択マスク7は中心線9(A-A')に関して対称形であり、中央寄りの基部7aから両先端部7bに向かってテーパ状に延長した形状となっている。図6は図5の中心線9における断面図である。図6に示すように、被マスク構造8は、MQW活性層10をガイド層11, 12が挟み、上方のガイド層12上にInP層13が形成された構成となっている。このInP層を介して選択マスクが設けられている。例えば、MQW活性層10としては歪み超格子活性層(1.3 μm帯-InGaAsP 8ウェル活性層)、ガイド層11, 12としては0.7 μm厚の1.10 μm-InGaAsP層、InP層としては0.1 μm-InP層を用いることができる。

【0029】本発明の半導体光導波路の作製方法に従え

ば、光導波路のコア層の厚さを指数関数的に連続的に変化させることができるので、従来のように直線的に変化させる場合に較べて制御が容易であるとともに、光スポット変換領域長が $200\mu\text{m}$ 程度と短くても最大3倍以上の層厚比としても結合損失を受認できる範囲内に抑えることができる。

【0030】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

【0031】図7は、本発明による半導体光デバイスの実施例を示すものであり、同一基板上に半導体光機能素子としてDBR型レーザダイオードを集積した半導体光デバイスである。

【0032】図7中、21はn形のInP基板、22は光導波路コア層を形成するバンドギャップ波長 $1.15\mu\text{m}$ のInGaAsPガイド層、23はn形InPバッファ層、24、25はそれぞれp形（または半絶縁性となる不純物、例えば鉄）とn形の不純物を添加したクラッド層、26はp形のInPクラッド層である。27

（27a、27b、27c）はDBRレーザ用の金属電極、28はDBR型レーザのブラッグミラーを構成するために回折格子を作り付けた領域であり、光導波路コア層22と同一層に形成する。28aは回折格子である。29はDBRレーザの活性領域である。テーバ光導波路領域30のクラッド層26はこの領域のみ選択成長によって成長膜厚が厚くなるようにする。

【0033】本実施例では光導波路コア層の厚さは一定である。厚さは図1に示したように、導波方向に、すなわち、パッドジョイント部の接合面から出射端1aに相当する端部に至るまで、光導波路のコア層の厚さは指数関数的に連続的に減少している。

【0034】以下、素子製法について説明する。図8、図9に製作工程を示す。

【0035】（1）図8（A）に示すように、MOVPE（有機金属気相成長法）によりn形InP基板21に順次n形InPバッファ層23、バンドギャップ波長 $1.3\mu\text{m}$ のInGaAsP層を $0.1\mu\text{m}$ 、バンドギャップ波長 $1.55\mu\text{m}$ のInGaAsP層（またMQW層）を $0.1\mu\text{m}$ 、バンドギャップ波長 $1.3\mu\text{m}$ のInGaAsP層を $0.1\mu\text{m}$ 形成した層およびp形InPサブクラッド層32を成長する。バンドギャップ波長 $1.3\mu\text{m}$ のInGaAsP層、バンドギャップ波長 $1.55\mu\text{m}$ のInGaAsP層（またはMQW層）およびバンドギャップ波長 $1.3\mu\text{m}$ のInGaAsP層は活性層31をなす。以下成長層の形成は全てMOVPE法による。

（2）図8（B）に示すように、レーザの活性領域となる部分にSiNx（窒化硅素）膜33をスパッタ法とフォトリソグラフィ技術により形成し、この膜をマスクにウェットまたはドライエッチング技術によりn形InPバ

ッファ層23の上面まで、31、32の2層をエッチングする。

【0036】このマスクの形状は、図10に模式的上面図を示すように、中心線9に関し対称である。仮想線14で分けられる非対称な部分I、IIのうち、部分I（図10において左側）に切り欠き部（空所）を有し、この切り欠き部の幅は、最終的に活性層の幅となるべき幅 W から光出力端に相当する位置における幅 W_c へと（スポットサイズ変換領域長 L にわたって）テーバ状に連続的に拡大されている。

【0037】（3）図8（C）に示すように、SiNx（窒化硅素）膜33を選択成長マスクとし光導波路コア層22（バンドギャップ $1.15\mu\text{m}$ のInGaAsP層）と不純物添加しないInP層34を選択成長する。この膜を選択成長マスクとして用いると選択成長マスクで挟まれたチャネル部分の成長速度が増加し、テーバ光導波路のコア層の厚さを導波方向に指数関数的に連続的に変化したものとすることができる。

【0038】（4）図8（D）に示すように、回折格子を形成する領域の不純物添加しないInP層34をウェットエッチング（塩酸、りん酸の混合液）により除去する。

【0039】（5）図8（E）に示すように、干渉露光法（古くからDFBレーザなど回折格子製作に使用されてきた技術）または電子ビーム露光（電子ビーム走査装置により直接基板面に塗布したレジストを露光すること）により回折格子パターンを形成し、ウェットエッチまたはアルゴンイオンビームなどのドライエッチングにより回折格子を形成する。

【0040】（6）図8（F）に示すように、SiNx膜33を除去し、回折格子を保護するため試料全面にp形InPサブクラッド層35をMOVPEにより成長する。

【0041】（7）図9（A）に示すように、全面に再びSiNx（窒化硅素）膜36を形成する。

【0042】（8）図9（B）に示すように、電子ビーム露光または通常のフォトリソグラフィ技術によりDBRレーザ領域は、例えば幅 $1.2\mu\text{m}$ に、テーバ光導波路領域はその幅を光出射方向に $1.2\mu\text{m}$ から $0.5\mu\text{m}$ 以下にテーバ状に狭くしたSiNx（窒化硅素）膜を形成する。

【0043】（9）図9（C）に示すように、ドライエッチング技術により基板21面またはバッファ層23までエッチングする（図示の場合はバッファ層23までエッチングしてある）。

【0044】（10）図9（D）に示すように、SiNx（窒化硅素）膜36を選択成長マスクとし、p形（または半絶縁形）InP層24、n形のInP25を連続して成長する。

【0045】（11）図9（E）に示すように、層36

をふっ酸により除去し、p形InPクラッド層26およびp形InGaAs層27を形成する。この結果、DBRレーザ領域のクラッド層厚が1.5 μ m成長した場合、テバ光導波路領域はクラッド層厚が5 μ m程度まで増加する。

【0046】(12)図9(F)に示すように、テバ光導波路領域のみp形InGaAs層27を除去し、残存するp形InGaAs層27をテバ光導波路領域30、活性領域29、回折格子領域28に対応する部分27a、27b、27cに分割してDBRレーザ用金属電極とする。

【0047】さらに素子全体にわたり、例えばC₂H₆ドライエッチングで、幅10 μ m、深さ約5 μ mにメサ加工することによって、光導波路コア層22を中心にその外側に幅10 μ m、高さ約10 μ mのメサ構造を形成する。

【0048】以上の製作工程によって本発明による半導体光デバイスは製作できる。

【0049】これらの製作工程において、(10)の工程では24、25の2層をp形、n形のInP層によって形成したが、このとき、他の半導体基板21に比べ高い屈折率を持つ層(たとえばInAlAs、InGaAsP層等、またはこれらの層とInP層の多層構造)により層24、25を構成しても同様の効果が得られる。

【0050】

【発明の効果】請求項1に係る本発明の選択成長による半導体光導波路の作製方法に従えば、選択マスクをテバ状に成形することにより、光導波路のコア層の厚さを指数関数的に連続的に変化させ、最大3倍以上の膜厚比を有する半導体層を形成することで、レンズ系を使用しないで、低結合損失の半導体光導波路を作製方法することが可能となる。

【0051】請求項2に係る本発明の選択成長による半導体光導波路の作製方法に従えば、選択成長による光導波路形成において、選択マスクをテバ状に成形することにより、光導波路層のバンドギャップを指数関数的に連続的に変化させることで、レンズ系を使用しないで、低結合損失の半導体光導波路を作製方法することが可能となる。

【0052】請求項3に係る本発明の選択成長による半導体光導波路の作製方法に従えば、さらに、格子不整合量を制御し、半導体薄膜結晶がもっとも厚くなるバットジョイント部における格子不整合量を小さくし、半導体薄膜結晶がもっとも薄くなる光出射部における格子不整合量を大きくすることで、半導体薄膜結晶のどの部分においても臨界膜厚を超えないようにすることで、上述の効果をより効率的に達成することができる。

【0053】請求項4に係る本発明の半導体光導波路に従えば、半導体基板上に形成され、バットジョイント部と光出射部とを有し、コア層の厚さを光伝搬方向に沿

て変化させた埋込型のテバ光導波路において、前記光導波路のコア層の厚さが前記光伝搬方向に沿って指数関数的に連続的に変化しており、前記光導波路は入射端および出射端の膜厚比が最大3倍以上であり、前記光導波路を構成する半導体薄膜結晶がもっとも厚くなる前記バットジョイント部における格子不整合量を小さくし、該半導体薄膜結晶がもっとも薄くなる前記光出射部における格子不整合量を大きくし、該半導体薄膜結晶のどの部分においても臨界膜厚を超えない構成としたことで、レンズ系を使用しない、低結合損失の光結合を実現することが可能となる。

【0054】請求項5に係る本発明の半導体光導波路に従えば、半導体基板上に形成され、バットジョイント部と光出射部とを有し、コア層の厚さを光伝搬方向に沿って変化させた埋込型のテバ光導波路において、前記光導波路のバンドギャップが前記光伝搬方向に沿って指数関数的に連続的に変化しており、前記光導波路を構成する半導体薄膜結晶がもっとも厚くなる前記バットジョイント部における格子不整合量を小さくし、該半導体薄膜結晶がもっとも薄くなる前記光出射部における格子不整合量を大きくし、該半導体薄膜結晶のどの部分においても臨界膜厚を超えない構成としたことで、レンズ系を使用しない、低結合損失の光結合を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の半導体光導波路の模式的斜視図である。

【図2】本発明の半導体光導波路のコア層の層厚の変化を示す線図である。

【図3】本発明の半導体光導波路のコア層のPL波長特性を示す特性図である。

【図4】本発明の半導体光導波路のコア層の格子不整合量を示す特性図である。

【図5】本発明の半導体光導波路の作製方法において使用する選択マスクのテバ形状を示す模式的斜視図である。

【図6】図5のA-A'線における断面図である。

【図7】本発明の半導体光導波路を有する半導体光デバイスの模式的斜視図である。

【図8】(A)～(F)は、本発明の半導体光導波路を有する半導体光デバイスの作製方法の各工程を説明する断面図である。

【図9】(A)～(F)は、本発明の半導体光導波路を有する半導体光デバイスの作製方法の各工程を説明する断面図である。

【図10】本発明の半導体光導波路の作製方法において使用するテバ状選択マスクの形状を示す模式的上面図である。

【図11】レンズを用いた従来の光結合器を示す模式的上面図である。

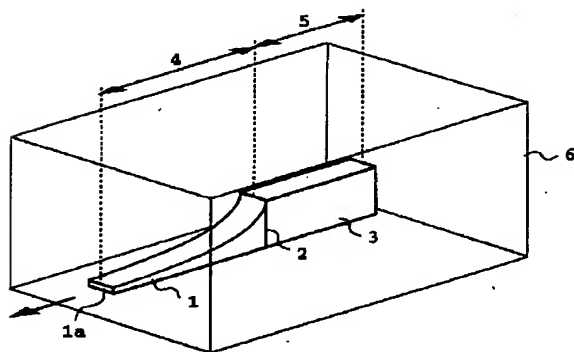
【図12】従来の光結合デバイスの構造を示し、(A)は上面図、(B)は断面図である。

【図13】従来の光結合デバイスの動作原理を示す線図である。

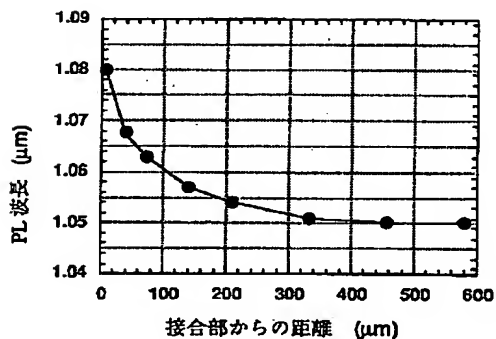
【符号の説明】

- 1 テーパ光導波路
- 2 パットジョイント部
- 3 MQW活性層
- 4 スポットサイズ変換領域
- 5 活性領域
- 6 素子化要素
- 7 選択マスク
- 7a 選択マスクの基部
- 7b 選択マスクの先端部
- 8 被マスク構造
- 9 中心線
- 10 MQW構造
- 11, 12 ガイド層
- 13 InP層

【図1】

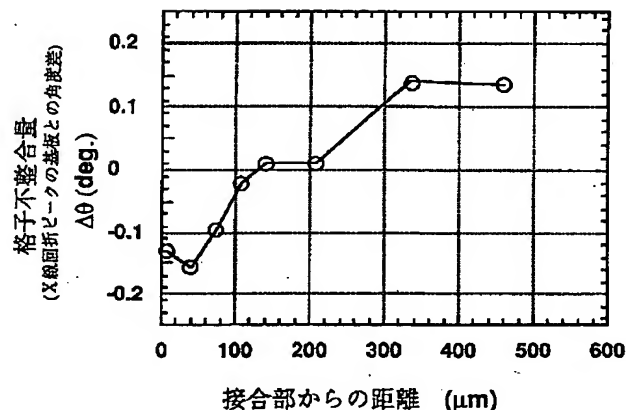


【図3】



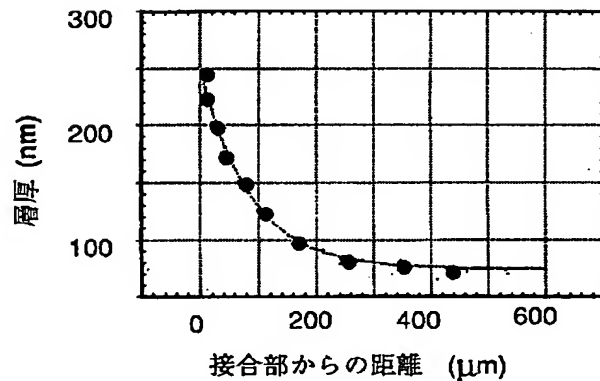
格子不整合量
(X線回折ピークの基底との角度差)

$\Delta\theta$ (deg.)

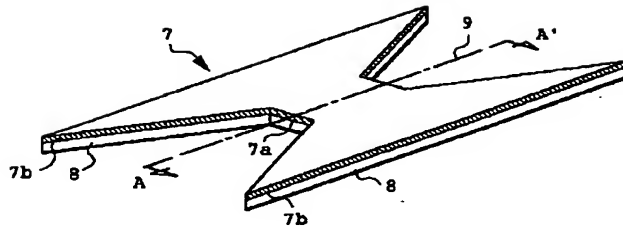


- 14 仮想線
- 21 n形InP基板
- 22 InGaAsPガイド層
- 23 n形InPバッファ層
- 24 p形クラッド層
- 25 n形クラッド層
- 26 p形InPクラッド層
- 27, 27a, 27b, 27c DBRレーザ用金属電極
- 28 回折格子領域
- 29 活性領域
- 30 テーパ光導波路領域
- 31 活性層
- 32 p形InPサブクラッド層
- 33 SiN_x膜
- 34 InP層
- 35 p形InPサブクラッド層
- 36 SiN_x膜

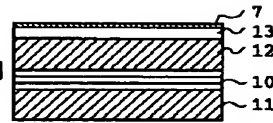
【図2】



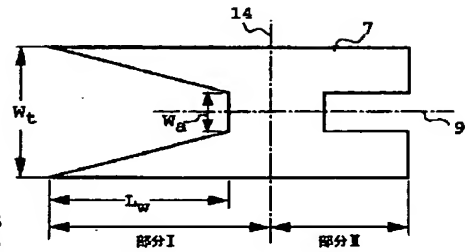
【図5】



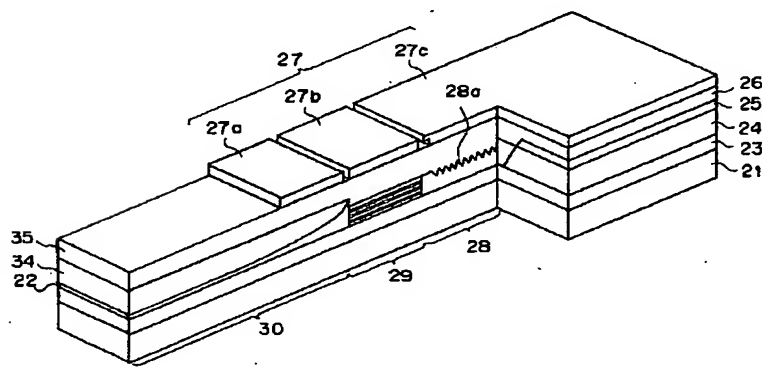
【図6】



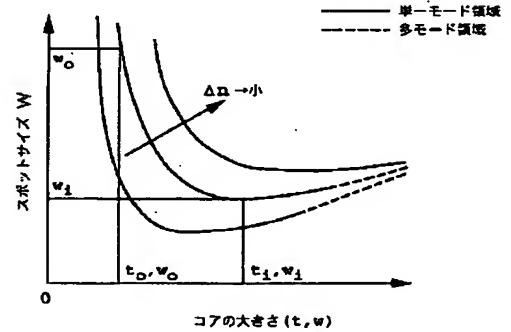
【図10】



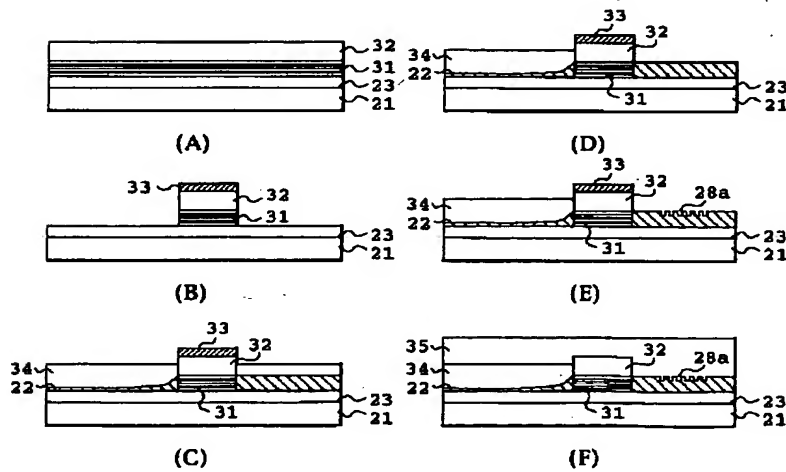
【図7】



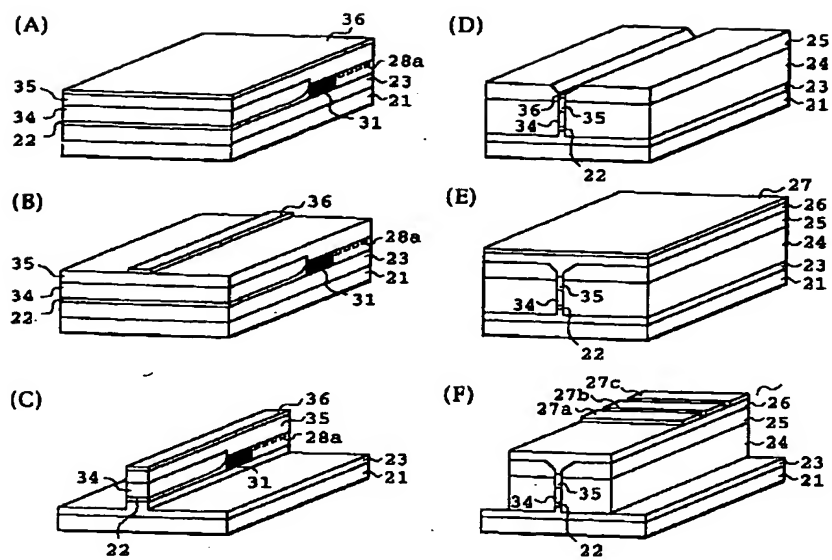
【図13】



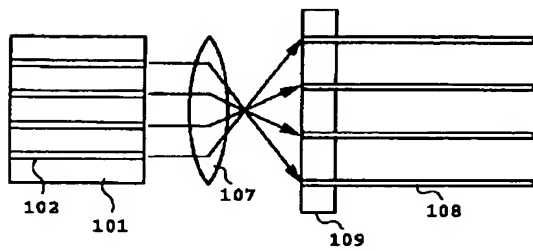
【図8】



【図 9】



【図 11】



【図 12】

